

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-132242

(43)Date of publication of application : 18.05.1999

(51)Int.Cl. F16C 33/62
F16C 19/26

(21)Application number : 09-300622

(71)Applicant : NIPPON SEIKO KK

(22)Date of filing : 31.10.1997

(72)Inventor : TAKEHARA TORU
KONNO MASARU
SUZUKI TOSHIO

(54) ROLLING BEARING WITH ITS METAL SURFACE TREATMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a rolling bearing having a sufficient anti-baking property in a collar and roller end surface contact part, even when lubricating oil quantity, to be supplied to a bearing, is less or exhausted.

SOLUTION: In a rolling bearing including a roller bearing having a collar part, and a roller assembled into the bearing; at least one side of the collar and roller end surfaces is to have an amorphous compound layer of a thickness of a 0.3-2.5 μm , formed of the chemically reacted metal surfaces of these members; and the compound layer is to include at least one kind element selected from periodic table fifth and sixth groups, an oxygen atom, a carbon atom, and a metal element which is a component of these members.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-132242

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月18日

(51) Int.Cl.⁸

F 1 6 C 33/62
19/26

識別記号

F I

F 1 6 C 33/62
19/26

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-300622

(22) 出願日 平成9年(1997)10月31日

(71) 出願人 000004204

日本精工株式会社
東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72) 発明者 竹原 徹
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内

(72) 発明者 金野 大
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内

(72) 発明者 鈴木 寿雄
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

(54) 【発明の名称】 金属表面処理を施した転がり軸受

(57) 【要約】

【課題】 軸受に供給される潤滑油量が少ない場合、あるいは潤滑油が枯渇した場合でも、つば/ころ端面接触部において十分な耐焼付性を有する転がり軸受を提供する。

【解決手段】 つば部を有するころ軸受と、この軸受に組み込まれたころを含む転がり軸受である。前記つば及びころ端面の少なくとも一方は、これら部材の金属表面が化学反応して形成された厚さ0.3～2.5μmの非晶質な化合物層を表面に有し、前記化合物層は、周期表第5族および第6族から選択された少なくとも1種の元素と、酸素原子と、炭素原子と、前記部材の構成成分である金属元素とを含むことを特徴とする。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 つば部を有するころ軸受と、この軸受に組み込まれたころを含む転がり軸受であって、前記つば及びころ端面の少なくとも一方は、これら部材の金属表面が化学反応して形成された厚さ0.3～2.5μmの非晶質な化合物層を表面に有し、前記化合物層は、周期表第5族および第6族から選択された少なくとも1種の元素と、酸素原子と、炭素原子と、前記部材の構成成分である金属元素とを含むことを特徴とする転がり軸受。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は転がり軸受に係り、特に、つば部を有するころ軸受およびころを含み、軸受部分における潤滑油の枯渇や供給不足が発生しやすいころ軸受に関する。

【0002】

【従来の技術】つば部を有するころ軸受と、これに組み込まれるころとは、一般には図10の断面図に示すように構成される。ころ33は、大つば部28aおよび小つば部28bを有する内輪25aと、外輪23aとの間に組み込まれ、ころ転動面22aで外輪軌道面27aおよび内輪軌道面24aに接触している。さらに、ころ33の大径端面35は、内輪25aの大つば端面34に接触している。ころ軸受に負荷されたアキシャル加重は、図示するような円すいころ軸受では主として軌道輪つば部28aと、このつば部に接触するころ端面35とで支持され、円筒ころ軸受の場合には、内輪または外輪のいずれかに設けられたつばと、これに接触するころ端面とで支持される。

【0003】なお、図10における矢印Bからみた概略は図11に示すとおりであり、内輪つば端面34と、ころ端面35との接触部は、軸受の構造から大きな滑りを伴う転がり接触となる。このため、軸受に供給される潤滑油量が少ない場合、あるいは潤滑油が枯渇した場合には、つば／ころ端面間の摩擦・発熱が増大して、この部分で焼付やかじりなどの損傷が生じやすくなるという問題があった。

【0004】特に、自動車デフビニオン用円すいころ軸受では、自動車旋回時に遠心力の作用によりデフケース内の潤滑油に偏りが生じて軸受への給油が瞬間的に途絶える場合や、急加速時の軸受温度急増による熱膨張で予圧過大となる場合などには、つば／ころ端面間で焼付が生じることがある。また、鉄道車両駆動装置ビニオン軸受円錐ころ軸受では、冬季の低温始動時に潤滑油粘度が高く流動しにくいことが原因となって、軸受への給油が十分に行なわれず、前述と同様の部分が焼付易いという重大な問題があった。

【0005】つば／ころ端面での焼付を防止するため

に、従来は、ころ端面やつば面の粗さを高めて表面の直

接的な金属接触を可能な限り避けることが試みられてきた。また、潤滑膜が破れて表面の直接的な接触が生じる場合には、耐焼付性や耐摩耗性を向上させる極圧添加剤を配合した潤滑油を用いるなどの方法で焼付の防止を図っていた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、ころ端面やつば面の粗さを高めても、それらの表面の直接的金属接触を避けるには限界があり、特に軸受回転中の高温状態では潤滑油が瞬間的に枯渇するだけでも金属接触は起こりやすくなる。また、極圧添加剤入りの潤滑油を使用したところで、低温時に潤滑油が高粘度の場合には軸受への潤滑油供給が良好に行なわれないため、添加剤の効果を十分に得ることはできない。いずれの場合も、焼付防止は十分に行なわれない。

【0007】そこで本発明は、軸受に供給される潤滑油量が少ない場合、あるいは潤滑油が枯渇した場合でも、つば／ころ端面接触部において十分な耐焼付性を有する転がり軸受を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、つば部を有するころ軸受と、この軸受に組み込まれたころを含む転がり軸受であって、前記つば及びころ端面の少なくとも一方は、これら部材の金属表面が化学反応して形成された厚さ0.3～2.5μmの非晶質な化合物層を表面に有し、前記化合物層は、周期表第5族および第6族から選択された少なくとも1種の元素と、酸素原子と、炭素原子と、前記部材の構成成分である金属元素とを含むことを特徴とする転がり軸受を提供する。

【0009】以下、本発明を詳細に説明する。本発明の転がり軸受において、つば及びころ端面の少なくとも一方の表面に存在する化合物層は、前記部材の金属表面を特定の成分と化学反応させることにより得られたものである。したがって、コーティング等により部材の表面上に形成された積層膜とは異なり、むしろ表面下に形成される。かかる化合物層中における周期表第5族または6族の元素の含有量は、元素比として2～30%であることが好ましい。2%未満の場合には、この元素の効果を十分に得ることができず、一方30%を越えると、反応速度が増加し、母材表面の粗さが悪化するおそれがある。

【0010】化合物層における酸素の含有量は、元素比で10～70%が望ましい。10%未満では反応が不十分となり、一方70%を越えると化合物の生成ができないおそれがある。また、炭素は、極表面を除いては、金属成分中の固溶量と同程度であることが望まれる。

【0011】本発明の転がり軸受における化合物層は、例えば、以下のような方法で形成することができる。周期表第5族に属する元素としてリンを含有させた化合物

層を得るには、例えば、反応液として有機リン酸エステルを芳香族炭化水素で希釈した溶液を用いることができる。この際、反応液中におけるリン濃度は、1～15%程度であることが好ましい。1%未満の場合には、反応速度が遅く、化合物層生成が十分でなく、一方15%を越えると反応速度の制御が難しく、表面粗れのおそれがある。

【0012】こうして調製した希釈溶液中に被処理体である部材を浸漬して、100℃～200℃で1～20時間熱分解反応させることにより、リンと酸素と炭素と鉄とを含有する化合物層が部材表面に形成される。

【0013】あるいは、フッ化水素酸または硝酸で水素イオン濃度を3.5～5.0に調整したリン酸アンモニウム水溶液を反応液として用いて、上述したようなリンを含有する化合物層を形成することも可能である。この反応液中におけるリン酸アンモニウムの濃度は、1～10wt%が好ましく、2～5wt%がより好ましい。1wt%未満では、リンと鉄との化合物層の生成が十分でなく、一方10wt%を越えると、反応速度が速く表粗れのおそれがある。

【0014】こうして調製した反応液中に被処理体を浸漬し、100℃以下の温度で3～15分間反応させれば、リンと鉄と酸素と炭素との化合物層が表面に形成される。なお、周期表第5族の元素としてアンチモン、ビスマス等の他の元素を含む化合物層も、前述のリンの場合と同様に所定の有機化合物を含有する反応液を使用することによって形成することができる。

【0015】また、周期表第6族に属する元素として硫黄を含有する化合物層を得るには、例えば、有機硫黄化合物を合成炭化水素で希釈した反応液を用いることができる。この際、反応液中における硫黄濃度は、0.1～5%程度であることが好ましい。0.1%未満の場合には化合物層の生成速度が遅く成膜が十分でなく、一方5%を越えると表面粗さが悪化するおそれがある。有機硫黄化合物として二硫化ジブチルを用いる場合には、反応液中における二硫化ジブチルの濃度は、1～20wt%であることが好ましく、3～10wt%である場合には化合物の生成反応速度が高まるのでより好ましい。

【0016】こうして調製した希釈溶液中に被処理体である部材を浸漬して、100～200℃で1～20時間反応させることにより、硫黄と酸素と炭素と鉄とを含有する化合物層が部材表面に形成される。

【0017】なお、化合物層の形成に当たっては、反応時の温度は上述した範囲に限定されるものではなく、被処理体の硬さを損なわない範囲で適宜決定することができる。例えば、高温で焼き戻した高速度鋼の場合には、

200℃以上で反応させて、所望の化合物層を形成することもできる。

【0018】こうして形成された化合物は非晶質であるので、部材の耐焼付性を向上させることが可能となった。しかも、部材の表面上に新たに積層された層ではなく、部材表面自体が化学反応して形成された膜であるので、高い強度を有している。

【0019】本発明においては、上述したような方法で部材表面に形成される化合物層の厚さを、0.3～2.5μmに限定した。0.3μm未満の場合には、処理後の部材の限界荷重が減少し、一方、2.5μmを越えた場合には、限界荷重の減少に加えて摩擦係数の上昇が生じる。いずれの場合も、転がり軸受として好ましくない。

【0020】化合物層の厚さは、上述した範囲内であれば、処理される軸受の表面粗さまたは処理部位等に応じて適宜決定することができる。例えば、用いる反応液におけるリン酸アンモニウムや二硫化ジブチルの濃度、反応時の温度、および時間等を変更すれば、得られる化合物層の厚さを制御することが可能である。

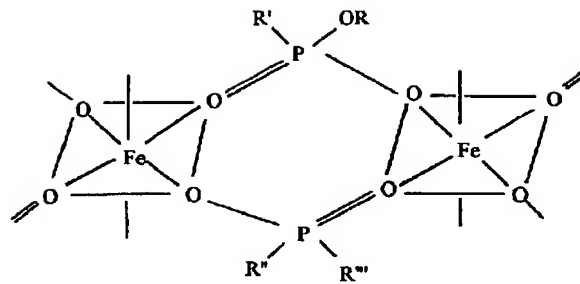
【0021】なお、化合物層の厚さは、より好ましくは0.5～2.0μmであり、最も好ましくは1.0～2.0μmである。本発明における化合物層の組成は、X線光電子分光分析器(XPS)を用いて測定することができる。これは、試料表面にX線を照射し、試料の最外表面(約数オングストローム)より放出される光電子エネルギー解析によって、試料表面の元素の情報(定性、定量)および結合状態を得るものである。さらに、アルゴンイオン銃を用いて試料表面をスパッタしながら測定を行なうことにより、元素の深さ方向での状態分析が可能である。

【0022】ここで、図1のグラフに本発明の化合物層の組成分析の一例を示す。図示する例は、リン酸アンモニウムとフッ化水素酸とによって得られたリン系化合物層の場合であり、横軸に表面からの深さ(部材表面から約600nmまで)をとり、鉄、酸素、炭素、およびモリブデンの元素存在量を縦軸に百分率(原子%)で示している。

【0023】本発明における化合物層の組成は、傾斜的な連続層を示しており、鉄または酸素の元素量が一定の飽和量に達したエッチング時間により換算した深さを、化合物層の全膜厚と定義する。これらの化合物の構造式の一例を、下記化学式に示す。

【0024】

【化1】



【0025】上記構造式中、R、R'、R''、R'''は、鉄、酸素、リン、炭素、およびモリブデンのいずれかの元素が化合すると推測される。なお、リンは硫黄と相互置換することができ、モリブデンは鉄で置換されると考えられる。また炭素は、素材もしくは表面近傍に存在すると推測される。本発明においては、このような構造式で表わされる化合物は、部材の表面近傍に多く存在して、深部にいくにしたがって減少する。

【0026】本発明においては、所定の厚さで形成された前述の化合物層の効果を十分に得るためには、転動体等の被処理体の表面粗さは、 $R_a = 0.01 \sim 0.8 \mu m$ の範囲であることが好ましく、 $R_a = 0.01 \sim 0.5 \mu m$ の範囲であることがより好ましい。表面粗さが $0.01 \mu m$ 未満の場合には形成された化合物層の厚さが及ぼす影響が大きくなり、処理前粗さに比べて粗さが悪化する。一方 $0.8 \mu m$ を超えると、表面が粗すぎるために所望の効果を達成することが困難となる。

【0027】上述したような化合物層が形成された本発明のころ軸受は、軸受けを適用する機械、装置（車輻駆動装置、自動車デフギヤなど）の作動条件（速度、荷重）等に応じた任意の条件で稼動することができるが、転動体とつば部とのすべり速度が $0 \sim 7 m/s$ の範囲であって、つばと端面との接触面圧が $2 \sim 50 kgf/mm^2$ の範囲であることが好ましい。なお、面圧 $5 \sim 40 kgf/mm^2$ 、すべり速度 $0.5 \sim 5.0 m/s$ の条件で稼動することが特に効果的である。

【0028】本発明においては、つば部を有するころ軸受のつば及びころ端面の少なくとも一方の表面を化学反応させて、特定の元素を含有する化合物層を形成したので、軸受に供給される潤滑油量が少ない場合、あるいは枯渇した場合でも、つば/ころ端面接触部における摩擦・摩耗・発熱を低減させることができた。

【0029】特に本発明において形成される化合物層は、被処理体の表面にコーティング等により形成される積層膜ではなく、被処理体である部材を構成する金属の表面が化学反応して本来の表面下に形成されたものである。このため、高い強度を有している。しかも非晶質であるので、かかる化合物層によって、つば/ころ端面接触部における耐焼付性を著しく向上させることができた。

【0030】なお、本発明の部材表面に形成される化合

10 物層は、極圧性反応膜であり、低コストの金属表面処理で形成可能であるという利点もある。本発明は、低温始動時に高粘度で潤滑油が供給されにくい鉄道車両駆動装置ビニオン軸受や、旋回時に遠心力で潤滑油が枯渇し易い自動車デフビニオン軸受などの焼付防止に特に有効である。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例および比較例を示して、本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

20 （実施例1）本実施例においては、円すいころ軸受のつば/ころ頭部両方に金属表面処理を施すことにより、耐焼付性を向上させた。円すいころ軸受としては、（内径 $\phi 75.0 mm$ 、外径 $\phi 160 mm$ ）のものを用意し、次のようにして所定の位置にリン系化合物の反応膜を形成した。

【0032】まず、リン酸アンモニウム水溶液（リン酸アンモニウム濃度：10 wt%）の水素イオン濃度を、フッ化水素酸で3.5～5.0に調整して反応液を得た。なお、ここで用いた反応液中の酸濃度は、反応液10 mlを0.1 Nの水酸化ナトリウムで20～30 mlで中和できる濃度である。表面処理される軸受の転動体および内外輪軌道面（つば部を含む）は、アルカリ水溶液で脱脂洗浄した後、前述の反応液中に $80^\circ C$ で5分間浸漬した。なお、ここで表面処理を施した部材の表面粗さは、 $0.1 \sim 0.2 \mu m R_a$ 程度である。

30 【0033】その結果、部材の表面において化学反応が生じてリンと酸素と炭素と鉄とを含む化合物層が形成された。X線光電子分光装置（XPS）でその表面プロファイルを測定したところ、得られた化合物層の厚さは、 $1.5 \mu m$ であった。また、化合物層におけるリンの含有量は、元素比で12%であった。

【0034】上述のように表面処理を施した転動体を内外輪に組み込んで円すいころ軸受を構成し、その耐焼付性を評価した。評価試験には図2に示した試験装置を用い、つば/ころ頭部接触部におけるPV値（面圧 \times すべり速度） $= 30/60 (kgf/mm^2 \cdot m/s)$ の2条件において給油遮断することにより行なった。ここでの条件は、次のとおりである。

40 【0035】 $PV = 30 kgf/mm^2 \cdot m/s$ ； $P_{max} = 20 kgf/mm^2$ ， $V = 1.5 m/s$

$PV = 60 \text{ kqf/mm}^2 \cdot \text{m/s}$: $P_{max} = 20 \text{ kqf/mm}^2$, $V = 3.0 \text{ m/s}$

耐焼付性は、給油遮断から軸受の動トルクが急増して焼付くまでの時間（焼付時間）で評価した。

【0036】さらに、いずれの部位にも金属表面処理を施さない以外は、前述と同様の円すいころ軸受について、同様の試験装置を用いて2条件において耐焼付性を評価した。

【0037】得られた結果を図3のグラフに示す。図3(a)は、PV29条件下での結果を表わしており、図3(b)は、PV16条件下での結果である。図3に示されるように、本発明の金属表面処理品は、未処理品よりも明らかに耐焼付性が優れている。いずれの条件においても、属表面処理を施すことにより、耐焼付性が5～10倍に飛躍的に向上している。

【0038】本実施例の結果から、供試体である円すいころ軸受に対し、ころ端面および内輪つば面の双方の表面に所定の厚さのリン系化合物層を形成することによって、耐焼付性を向上できることが確認された。

【0039】（実施例2）本実施例においては、鉄道車両駆動装置ビニオン軸用円すいころ軸受の表面に化合物層を形成して耐焼付性を向上させた。なお、鉄道車両駆動装置ビニオン軸用円すいころ軸受は、低温始動時に高粘度で潤滑油が供給されにくいものであり、その概略を図4に示す。図4(a)は鉄道車両駆動装置の水平断面を上方から見た概略図であり、図4(b)は同装置の垂直断面を横方向から見た概略図である。

【0040】図4に示す駆動装置ビニオン軸用円すいころ軸受1は、ギアBOX底部に溜められた潤滑油3の大歯車4による跳ねかけ給油で潤滑される。なお図中、2は車輪であり、5は小歯車（ビニオン）を表わしている。ビニオン軸受1は、回転速度も高く、非常に過酷条件に曝されるが、冬季の低温始動時のように潤滑油粘度が高く流動性が著しく悪い場合には、始動後しばらくの間、給油が十分に行なわれない期間がある。この間は、潤滑油および添加剤による焼付防止効果は期待できない。

【0041】このようなビニオン軸用円すいころ軸受1のテーバーころに、金属表面処理を施して硫黄を含む化合物層を形成することによって、焼付を防止することができた。

【0042】まず、二硫化ジブチルを合成炭化水素（モービルSHF）で6wt%に濃度調整して反応液を得た。表面処理される転動体であるテーバーころは、石油ベンジンで脱脂洗浄した後、前述の反応液中に150℃で5時間浸漬した。なお、ここで表面処理を施したテーバーころの表面粗さは、0.15～0.3μmRaである。

【0043】その結果、テーバーころの頭部表面では化学反応が生じて、硫黄と酸素と炭素と鉄とを含有する化

合物層が形成された。X線光電子分光装置（XPS）で表面プロファイルを分析したところ、得られた化合物層の厚さは、2.0μmであった。また、化合物層における硫黄の含有量は、元素比で20%であった。

【0044】このような硫黄系化合物層が形成されたテーバーころを、所定の軌道輪に組み込んで駆動装置ビニオン軸用円すいころ軸受（内径φ85mm、外径φ180mm）を構成し、その耐焼付性を評価した。試験に当たっては、まず、軸箱内を潤滑油で満ちして軸受を油に浸漬し、その後、排油して約1時間放置した。次いで、実機駆動装置をシミュレーションして、（ $PV = 30 \text{ kqf/mm}^2 \cdot \text{m/s}$ ）の条件で軸受を一定回転速度で回転させた。その間、時間とつば温度とを測定して、つば温度が急昇した時点を焼付として試験機を停止した。

【0045】さらに、テーバーころに金属表面処理を施さない以外は、前述と同様の駆動装置ビニオン軸用円すいころ軸受について、同様の試験を行なって時間とつば温度とを測定した。

【0046】測定したつば温度を時間に対してプロットして、図5のグラフに示す。図5中、曲線Aは本発明の処理品についての結果を表わしており、曲線Bは同様の円すいころ軸受に表面処理を施さない場合の未処理品についての結果である。いずれの曲線においても×印は焼付が生じたことを表わしている。

【0047】図5に示されるように、未処理品（曲線B）は9分程度で焼付を起こしているのに対し、本発明の処理品（曲線A）で焼付が生じるのは30分であり、本発明の処理品は、未処理品に比べて優れた耐焼付性を有していることがわかる。

【0048】本実施例の結果から、円すいころ軸受のころ頭部のみに所定の厚さの硫黄系化合物層を形成した場合でも、耐焼付性を向上できることが確認された。

（実施例3）本実施例においては、自動車デフビニオン軸用円すいころ軸受に表面処理を施して、耐焼付性を向上させた。ここで、図6に、自動車デフビニオン軸用円すいころ軸受の概略を示す。図中、11はビニオン軸用円すいころ軸受（フロント）、12はビニオン軸用円すいころ軸受（リヤ）、13はビニオン軸を表わしている。自動車旋回時に遠心力が働いてデフケース内に収容されている潤滑油が偏った場合には、デフビニオン軸用円すいころ軸受11、12は潤滑油が枯渇する。潤滑油の枯渇は瞬間的なものであるが、デフ内は非常に高温で軸受予圧荷重が増大し、かつビニオン軸13は高速で回転することから、短時間の潤滑油不足であっても焼き付く場合がある。また、急加速時の軸受温度急増による熱膨張で予圧過大となる場合などに、つば/ころ端面に焼付が生じることもある。

【0049】このようなデフビニオン軸円すいころ軸受11、12に、次のようにして金属表面処理を施すこと

により焼付を防止することができた。特に、潤滑油の不足しがちなフロント側ビニオン軸受 11 に対する焼付防止効果は大きい。

【0050】具体的には、デフビニオン軸用円すいころ軸受（内径φ30mm、外径φ70mm）の大つばに、実施例 1 と同様の表面処理を施して膜厚 1.5 μm のリン系化合物層からなる被膜を形成した。なお、テーパーころの表面粗さは、0.05~0.15 μmRa である。

【0051】こうして得られた処理品の焼付防止効果を、次のようにして評価した。試験に当たっては、一定油温、一定流量の潤滑油を軸受へ給油した状態で、試験軸受を 0~3000 rpm まで 10 秒間で急加速し、その間の動トルクの変化を測定した。なお、ここでの試験条件は、つば部 PV=20 (kgf/mm²・m/s)、P_{max}=16 kgf/mm²、V=1.25 m/s とした。

【0052】さらに、同様のデフビニオン軸用円すいころ軸受に被膜処理を施さず、上述と同様の試験に供し、得られた結果を図 7 のグラフに示す。図 7 中、曲線 C は本発明の処理品についての結果であり、曲線 D は未処理品についての結果を表わしている。また、曲線 D の×印は、焼付が生じたことを示し、曲線 C の○印は、損傷なしを示している。図 7 のグラフから明らかなように、未処理品（曲線 D）では 1500 rpm を越えると動トルクが急増して、2500 rpm 以上で焼き付くのに対し、本発明の被膜処理品（曲線 C）では、3000 rpm でも低トルクで損傷することなく良好に回転している。

【0053】このように、円すいころ軸受のつば部のみに表面処理を施して所定の厚さのリン系化合物層を形成した場合も、焼付を防止できることが確認された。

（実施例 4）本実施例においては、表面処理により軸受に形成される化合物層の膜厚の最適（有効）範囲を評価した。

【0054】まず、次のような供試鋼球に、実施例 1 と同様の手法でリン系化合物の被膜を形成した。この際、温度、反応時間、処理液濃度を変えることによって、リン系化合物層の厚さを、0.1 μm~3.0 μm の間で変化させた。

【0055】供試鋼球：SUJ 2、1/2 インチ（直径 12.7 mm）鋼球

表面粗さ=0.1~0.2 μmRa（ころ粗さ想定）
膜厚の異なるリン系化合物層が形成された供試鋼球の摩擦係数および限界加重（耐焼付性能の指標）を、シェル超高速 4 球試験機（ASTM D-4172 準拠）を用いて測定した。なお、摩擦係数は、各鋼球をギヤ油に浸漬させて、6.3 kgf の荷重（P_{max}=1.9 GPa）、すべり速度 V=3.0 m/s において測定した。また、限界荷重は、次のようにして決定した。すなわ

ち、各鋼球をギヤ油に浸漬させて、すべり速度 V=3.0 m/s の状態としつつ、50 kgf/min の負荷加速度で荷重を増加させ、焼付が生じた時点の荷重を限界荷重とした。

【0056】リン系化合物層厚と摩擦係数との関係、およびリン系化合物層厚と限界加重との関係を、それぞれ曲線 E および曲線 F として、図 8 のグラフに示す。これらの曲線からわかるように、化合物層厚が 0.3 μm 未満の場合には限界荷重が低下しており、これは、表面粗さが 0.01 μmRa 以上の摺動部材では特に顕著である。ころ軸受つば/ころ端面の接触では、表面粗さは通常 0.1~0.5 μmRa 前後であるので、上述したような化合物層厚の下限は、この場合にも適応される。一方、化合物層厚が 2.5 μm を越えると、化合物層自体の厚さが影響して表面粗さが悪化し、油膜が十分に形成されなくなるため、摩擦係数が上昇し、さらには限界荷重が低下する。

【0057】低い摩擦係数と高い限界荷重とは、本発明を軸受に適用する際には不可欠である。具体的には、摩擦係数は 0.08 未満であることが必要であり、限界荷重は 40 kgf 以上であることが必要である。したがって、本発明においては、化合物層厚を 0.3~2.5 μm と限定した。なお、化合物層厚は、より好ましくは 0.5~2.0 μm であり、最も好ましくは 1.0~2.0 μm である。

【0058】（実施例 5）本実施例においては、化合物層が形成される部材の被処理面の表面粗さの影響を調べた。

【0059】表面粗さ 0.004 μmRa~2.0 μmRa の被処理部材について、実施例 1 と同様の手法で表面処理を施して厚さ 0.5~1.5 μm のリン系化合物層を形成し、処理後の部材の表面粗さを測定した。この表面粗さから、処理前後の表面粗さ比（処理後表面粗さ/被処理面粗さ）を求め、被処理面粗さに対してプロットして図 9 のグラフに示した。

【0060】図 9 に示されるように、表面粗さが 0.01 μmRa を下回ると粗さ比は急増し、0.01 μmRa 以上では微減している。これは、粗さがよすぎる（Ra<0.01 μm）領域では、処理前表面粗さに比べて相対的に化合物層が厚くなるため、化合物層自体の面精度が影響して、処理後の粗さが処理前に比べて悪化することが原因である。処理前表面粗さが 0.01 μmRa 以上になると、処理前表面粗さに対する化合物層の厚さは小さくなり、処理後の表面粗さの悪化はほとんどなくなる。

【0061】一方、被処理体の処理前表面粗さが大きくなれば、化合物層の厚さが処理後の表面粗さに及ぼす影響は小さくなる。しかしながら、処理前粗さ Ra>0.8 μm の領域では、被処理面のもとの表面粗さが悪すぎるため、耐焼付性は著しく悪化してしまい、被膜の

耐焼付性の向上効果を十分に得ることができない。

【0062】このように、本発明の被膜処理が有効な被処理面表面粗さは、 $Ra = 0.01 \sim 0.8 \mu m$ であり、現状のころ軸受つば／ころ端面の加工精度を考慮すると、さらに好適には、 $Ra = 0.01 \sim 0.5 \mu m$ である。

【0063】以上、円すいころ軸受を例に挙げて、本発明の実施例を説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、つば部を有する全てのころ軸受（円筒ころ軸受、球面ころ軸受、ニードル軸受）に対して有効である。特に、ころ端面形状が平面または球面であり、ころ端面粗さまたはつば面粗さが $Ra = 0.01 \sim 0.5 \mu m$ の範囲に加工された円筒／円すいころ軸受では、その表面に前記化合物層を形成させることで、従来より問題とされてきた耐焼付性不足を解決することができる。

【0064】さらに、玉軸受においても、転動体と保持器とはすべりを伴うので、保持器および転動体の少なくとも一方に上述したような化合物層を形成することによって、同様の効果を得ることができる。

【0065】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、軸受に供給される潤滑油量が少ない場合、あるいは潤滑油が枯渇した場合でも、つば／ころ端面接触部において十分な耐焼付性を有する転がり軸受が提供される。本発明は、低温始動時に高粘度で潤滑油が供給されにくい鉄道車両駆動装置ビニオン軸受、および旋回時に遠心力で潤滑油が枯渇し易い自動車デフビニオン軸受などの焼付防止に有効である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における化合物層の組成分析の一例を示すグラフ図。

【図2】実施例1で用いた試験装置の概略を示す図。

【図3】耐焼付性評価試験の結果を示すグラフ図。

【図4】鉄道車両駆動装置ビニオン軸用円すいころ軸受を表わす概略図。

【図5】鉄道車両駆動装置ビニオン軸用円すいころ軸受＊

＊の耐焼付性評価試験の結果を示すグラフ図。

【図6】自動車デフビニオン軸用円すいころ軸受を表わす概略図。

【図7】デフビニオン軸用円すいころ軸受の耐焼付性評価試験結果を表わすグラフ図。

【図8】油中における化合物層厚と摩擦係数との関係、および化合物層厚と限界荷重との関係を表わすグラフ図。

【図9】被処理面粗さと、（処理後粗さ／被処理面粗さ）との関係を表わすグラフ図。

【図10】円すいころ軸受の構成を示す概略図。

【図11】図10に示した円すいころ軸受の端面接触部を示す概略図。

【符号の説明】

1…駆動装置ビニオン軸用円すいころ軸受

2…車輪

3…潤滑油

4…大歯車

5…小歯車（ビニオン）

20 11…ビニオン軸用円すいころ軸受（フロント）

12…ビニオン軸用円すいころ軸受（リヤ）

13…ビニオン軸

22a…ころ転動面

23a…外輪

24a…内輪軌道面

25a…内輪

28a…内輪大つば部

28b…内輪小つば部

30a…ころ大径面取り部

30b…ころ小径面取り部

31a…ころ大径面取り終端部

31b…ころ小径面取り終端部

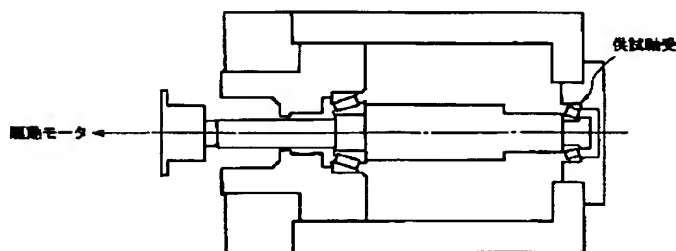
33…ころ

34…内輪大つば端面

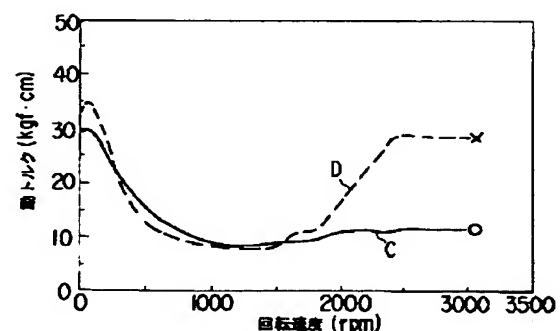
35…ころ大径端面

36…ころ接触精円。

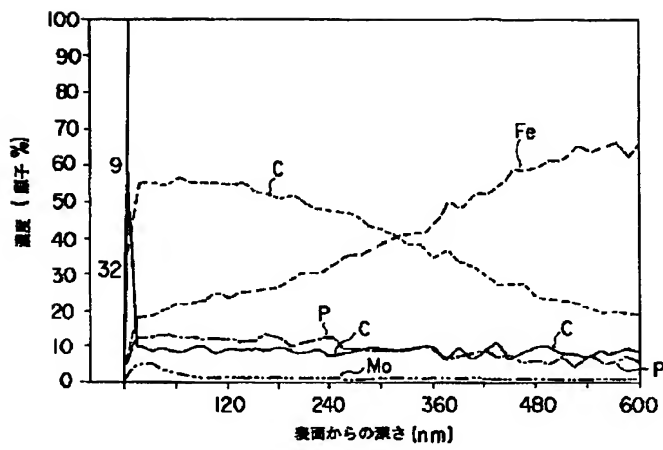
【図2】



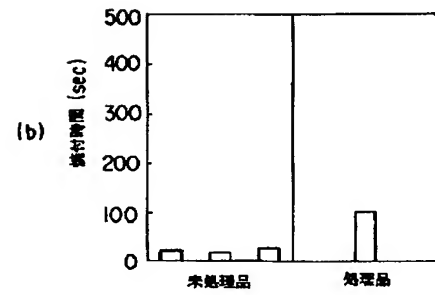
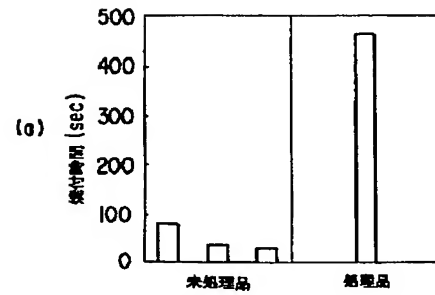
【図7】



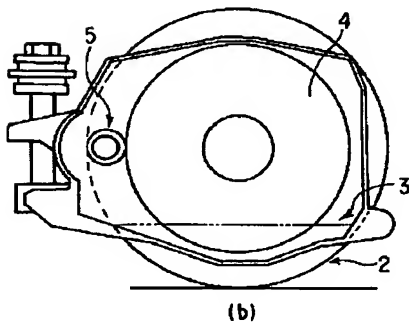
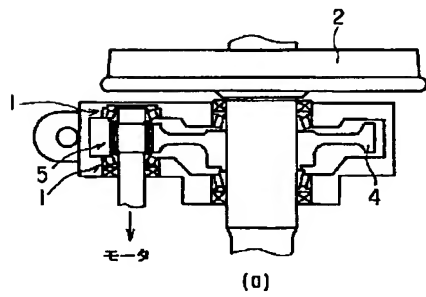
【図1】



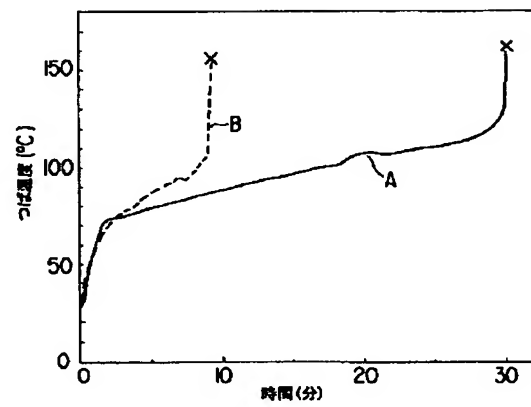
【図3】



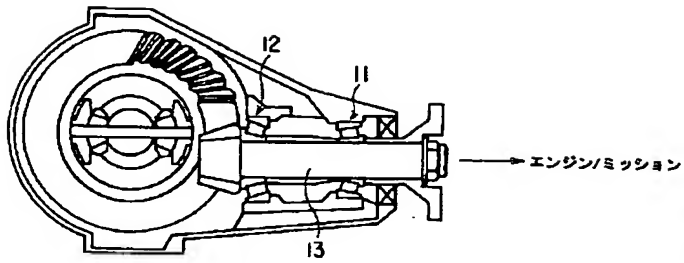
【図4】



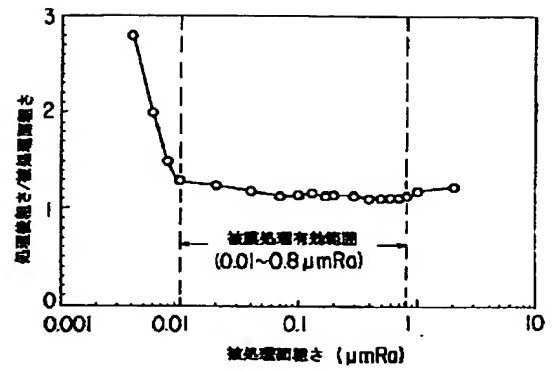
【図5】



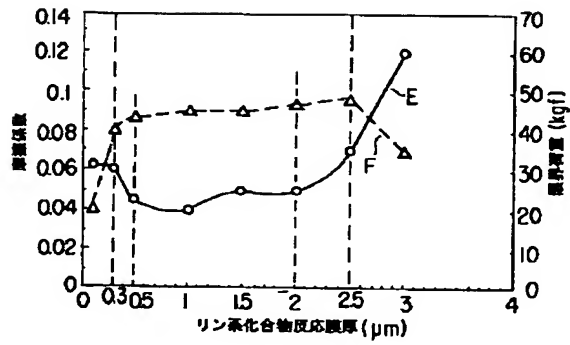
【図6】



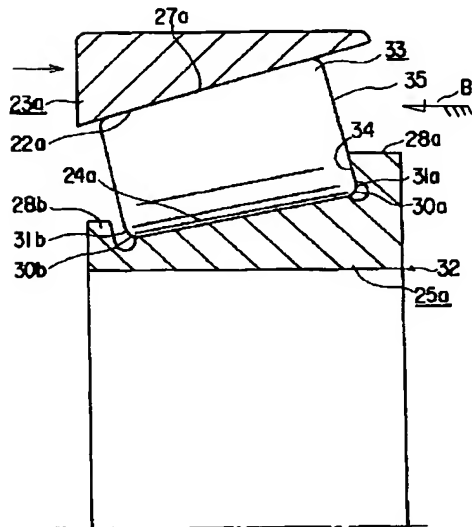
【図9】



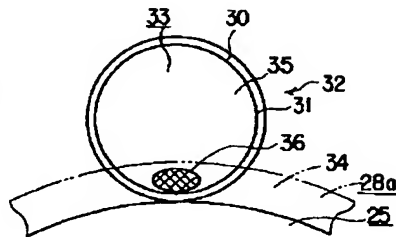
【図8】



【図10】



【図11】



THIS PAGE BLANK (USPTO)